УДК 004.896

В.Г. Писаренко, Ю.В. Писаренко, А.П. Коваленко
Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, г. Киев, Украина
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина
jvpisarenko@gmail.com

Распознавание навигационных знаков беспилотным летательным аппаратом

Приведены результаты обзора методик распознавания навигационных образов и принятия решения о посадке беспилотного летательного аппарата (БПЛА). На основе данных, полученных в процессе определения степени сходства изображения от камеры и эталона с помощью алгоритма поиска эталона, предложен алгоритм для бортовой системы БПЛА определения своего собственного места нахождения в пространстве относительно распознанного навигационного знака (НЗ).

Введение

Украина принадлежит к немногим государствам, обладающим полным циклом создания авиационной техники, и занимает значительное место на мировом авиационном рынке в секторе транспортной и пассажирской авиации [1].

Активное развитие БПЛА обусловлено рядом их важных преимуществ. Прежде всего, это отсутствие экипажа, относительно небольшая стоимость разработки, малые затраты на их эксплуатацию, возможность выполнять маневры с перегрузкой, превышающей физические возможности человека, большая продолжительность и дальность полета при отсутствии фактора усталости экипажа и другие преимущества по сравнению с пилотируемой авиацией [2].

Во время полета БПЛА, который осуществляется с помощью сложных новейших технологий, происходит определение координаты его собственного местонахождения по данным, получаемым от искусственных спутников Земли. Но при посадке на небольших расстояниях от земной поверхности информация, полученная таким образом, может давать достаточно большую погрешность, что может приводить к неверным выводам о приземлении и к повреждению [3, с. 305]. Следовательно, актуальной является проблема автоматизации принятия решений во время посадки БПЛА.

Постановка задачи

Проведенный анализ предметной области выявил ряд недостатков в методиках распознавания динамических навигационных образов в процессе принятия решения о посадке БПЛА.

В работе рассмотрена методика распознавания динамических навигационных образов, усовершенствованная за счет использования алгоритмов, применение которых возможно на маломощном бортовом процессоре БПЛА.

В более общей постановке эта проблема рассматривалась в ряде работ авторов [4-7] как проблема использования интеллектуальной робототехники для доразведки и нейтрализации техно-экологических происшествий (ТЭП) «УПРАВЛЕНИЕ_ТЭП».

Алгоритм векторизации изображения

От камеры БПЛА в систему поступает кадр изображения для распознавания. Алгоритм векторизации направлен на то, чтобы уменьшить количество точек, которыми оперирует система, а значит, значительно уменьшить время работы алгоритма, что улучшает быстродействие системы в целом.

Для модификации был выбран алгоритм «жука», поскольку он почти полностью покрывает собой задачу векторизации растрового изображения, поступающего с камеры БПЛА. Данный алгоритм идеально подходит для решения задачи нахождения всех точек растрового контура и определения верного порядка следования точек одна за другой при обходе контура. Задачей, которую алгоритм не решает, является выделение отдельно узловых точек изображения, которые являются углами фигуры.

На этапе выделения объекта растровое изображение сканируется сверху вниз и слева направо до нахождения объекта – первой точки, которая имеет цвет, отличный от цвета фона (обозначим ее (x, y)). В качестве алгоритма выступает автомат, блуждающий по клеткам плоскости и имеющий возможность обозревать «ближайших соседей» клетки, в которой он находится (рис. 1).

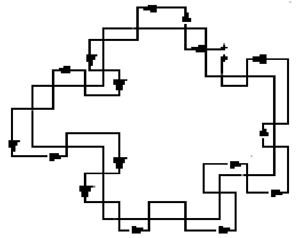


Рисунок 1 – Метод обхода контура алгоритмом «жука»

Алгоритм оконтуривания состоит из следующих шагов:

1) поиск «соседей» точки (x, y); «соседями» считаются черные клетки с координатами $(x-1, y)$, $(x, y-1)$, $(x-1, y-1)$, $(x+1, y)$, $(x, y+1)$, $(x+1, y+1)$, $(x+1, y-1)$;

2) поиск наиболее подходящего «соседа»; поиск начинается с точки, которая является следующей (по ходу часовой стрелки) по предварительной контурной точке;

3) добавление кода направления, по которому пошел жук, для описания образа.

Алгоритм заканчивает свою работу после достижения начальной точки. Данный алгоритм может быть реализован в виде конечного автомата, который будем называть сканером, блуждающим по среде, в качестве которой выступает бинарное поле ограниченного размера $n \times m$. Автомат, находясь в ячейке (i, j), $i = 1, ..., n$, $j = 1, ..., m$, осматривает окрестность этой ячейки, т.е. ячейки с координатами $(i-1, j-1)$, $(i-1, j)$, $(i, j-1)$, $(i+1, j)$, $(i, j+1)$, $(i+1, j+1)$, $(i-1, j+1)$, $(i+1, j-1)$ [8].

Задача алгоритма векторизации заключается в уменьшении количества точек, с которыми в дальнейшем оперирует алгоритм распознавания, что влечет за собой существенное увеличение показателя скорости работы программы. В процессе алгоритма выделяются две основные подзадачи:

1) переход от растрового изображения, полученного от камеры, к векторному;

2) выделение контура путем удаления внутренних точек и определение четкого порядка обхода полученных точек контура навигационного знака.

На основе алгоритма «жука», описанного выше, был разработан метод первичной обработки изображения, полученного с камеры БПЛА.

Удаляемые точки, лежащие внутри навигационного знака и не являющиеся контурными, отсеиваются по принципу, если для точки (i, j) существуют все точки с координатами $(i-1, j)$, $(i, j-1)$, $(i+1, j)$ и $(i, j+1)$, то она лежит в середине контура.

К алгоритму «жука» внесены следующие модификации:

– для каждой пары точек (предыдущая, текущая) строим вектор и вычисляем угол его наклона к горизонтали;

– если при нахождении следующей точки угол изменился более чем на 10 градусов, то точка является узловой, то есть в ней пересекаются две прямые, входящие в состав навигационного знака.

Входными параметрами алгоритма векторизации изображения выступает массив точек, соответствующих полученному изображению навигационного знака. Для оптимизации распознавания нужного образа, в отличие от алгоритма «жука», проводится процедура удаления точек, не являющихся контурными, т.е. таких точек, которые находятся внутри исследуемого объекта. Это приводит к уменьшению количества точек и скорости их обработки (рис. 2).

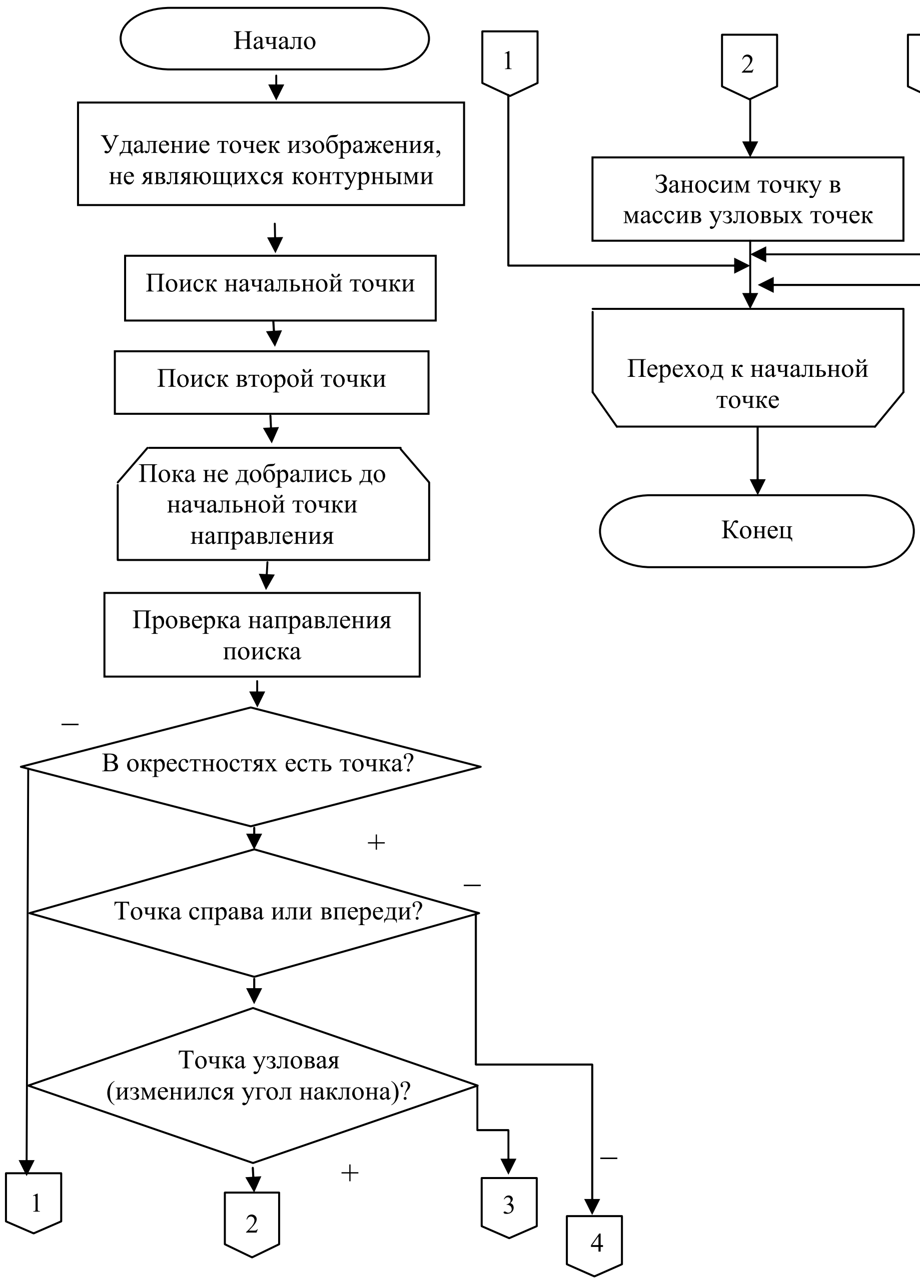


Рисунок 2 – Схема алгоритма векторизации изображения

Среди заметно уменьшенного количества точек происходит поиск первой точки, которая найдена первой закрашенной точкой при линейном просмотре массива точек входного изображения. Чтобы найти вектор дальнейшего поиска, необходимо найти следующую закрашенную точку в окрестности первой найденной, которая становится второй точкой. Дальнейший поиск точек начинается в правом направлении или в направлении вектора [9], образованного первыми двумя найденными точками (рис. 3).

Дальнейший поиск точек начинается в правом направлении или в направлении вектора [9], образованного первыми двумя найденными точками (рис. 3). При отсутствии точек в этих направлениях происходит разворачивание вектора на 180 градусов и повторяется поиск по таким же критериям, но уже в обратном направлении. Если же и при таких условиях поиск не дал желаемых результатов, происходит увеличение радиуса поиска до тех пор, пока не будет найдена следующая точка.

При нахождении каждой следующей точки происходит замена нумерации точек, то есть вектор поиска начинается с предыдущей и только что найденной точек. Если угол наклона полученного вектора значительно отличается от предыдущего, то найденная точка считается узловой и запоминается в результирующий массив, который в дальнейшем будет участвовать в процессе распознавания.



Рисунок 3 – Направление поиска следующей точки

Описанные действия повторяются до тех пор, пока не замкнется контур, то есть не будет достигнута первая найденная при выполнении данного алгоритма векторизации точка контура.

В результате выполнения алгоритма векторизации получается контур, состоящий только из узловых точек, что еще раз заметно уменьшает количество точек для дальнейшей обработки.

Алгоритм поиска эталона

В каждый момент времени разработанная в рамках данного исследования система с помощью алгоритма поиска эталона определяет степень сходства полученного камерой кадра изображения навигационного знака с каждым из предопределенных эталонов, хранящихся в базе данных, и рассчитывает положение БПЛА относительно НЗ, который был распознан в результате таких действий.

С бортовой видеокамеры БПЛА поступает преобразованное перспективой и углом обзора за счет высоты и расстояния до НЗ условное изображение поверхности для посадки. Такие искажения реального НЗ принадлежат к классу аффинных преобразований (рис. 4).

Методом постепенного перебора с шагом заданного заранее количества градусов определяются оси преобразованной аффинной системы координат, и делается предположение о том, что при проведении перерасчета координат в прямоугольную систему координат полученное изображение является одним из предопределенных эталонов.



Рисунок 4 – Прямые и преобразованные пары изображений

Для реализации распознавания НЗ, полученного из видеопотока бортовой видеокамеры БПЛА во время выполнения мониторинговой задачи, был разработан алгоритм поиска эталона. Входными параметрами алгоритма поиска эталона является контур, найденный с помощью алгоритма векторизации, а также набор предопределенных эталонов, хранящихся в базе данных. Такой эталон представляет собой набор узловых точек, составляющих контур.

Алгоритм поиска эталона начинается с определения преобразованных осей координат, которые запоминаются как аффинные координаты искаженного объекта. Далее происходит переход из косоугольной в прямоугольную систему координат. Таким образом, полученный контур и эталоны находятся в единой системе координат и их можно сравнивать, каждый раз поворачивая и масштабируя найденный контур. Эталонные контуры на каждом этапе остаются неизменными.

Степень сходства найденного контура и эталонов определяется на базе коэффициента корреляции [10] с помощью формулы Пирсона (1):

$$R_{x,y} = \frac{\operatorname{cov}(x, y)}{\sqrt{D[x]} \cdot \sqrt{D[y]}}, \tag{1}$$

где Rx,y – коэффициент корреляции, x – найденные узловые точки, y – узловые точки эталона, cov(x, y) – ковариация между найденными и эталонным узловыми точками, D[x] – дисперсия найденных точек; D[y] – дисперсия эталонных точек. Если полученный корреляционный коэффициент меньше предыдущего, то текущий эталонный контур на данном этапе считается наиболее похожим на найденный контур. Если достигнута максимально возможная степень сходства, то алгоритм заканчивается. Если найденный контур не соответствует ни одному эталонному, то это означает, что переданное изображение не является НЗ.

Определение местонахождения самолета

На основе данных, полученных в процессе определения степени сходства изображения от камеры с эталоном с помощью алгоритма поиска эталона, БПЛА определяет свое собственное место нахождения в пространстве относительно распознанного НЗ.

Место нахождения включает в себя такие параметры: ориентация по сторонам света, высота, угол, под которым видно НЗ, расстояние до знака. Точность определения зависит от количества пробных фотографий. Алгоритму определения местонахождения БПЛА будет посвящена отдельная публикация.

Выводы

На основе проведенного анализа усовершенствован алгоритм распознавания навигационных образов путем введения параметра накопления частоты встречаемости эталонов.

Разработан алгоритмический комплекс, обеспечивающий распознавание навигационного знака, на который должен осуществить посадку самолет, ориентацию БПЛА в пространстве, принятие решения о посадке. Данное алгоритмическое обеспечение может быть использовано на борту БПЛА, оборудованного бортовым компьютером.

Литература

1. Ориентация и навигация подвижных объектов: современные информационные технологии / [под ред. Б.С. Алёшина, К.К. Веремеенко, А.И. Черноморского]. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006 – 424 с.
2. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2008 р «Про схвалення Стратегії розвитку Вітчизняної авіаційної промисловості на період до 2020 року» № 1656-р.

3. Писаренко В.Г. Розпізнавання динамічних навігаційних об'єктів / В.Г. Писаренко, А.П. Коваленко // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики : тези доповідей VIII Міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів і студентів, (м. Київ, 19 – 23 квітня 2010 р.) – Київ : Володимирецька районна друкарня, 2010. – С. 305.
4. Кривонос Ю.Г. Структура информационно-аналитической системы поддержки задач раннего обнаружения, доразведки и нейтрализации опасных экологических происшествий / Ю.Г. Кривонос, В.Г. Писаренко, Ю.В. Писаренко // Интеллектуальные и многопроцессорные системы : материалы Седьмой научн.-техн. конференции. – Таганрог ; Донецк ; Минск. – 2006. – Т. 1. – С. 95-98.
5. Писаренко В.Г. Разработка информационно-аналитических систем поддержки принятия решений по управлению опасными быстропротекающими технологическими происшествиями / В.Г. Писаренко, Ю.В. Писаренко // Міжнар. конф. 50 років Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова : праці конференції, (Київ, 24 – 26 грудня 2007 р.). – 2007. – С. 214-222.
6. Писаренко В.Г. Вопросы виртуального проектирования систем, ориентированных на создание интеллектуализированных роботов для мониторинга экстремальных состояний техносферы. Часть 1 / В.Г. Писаренко, Ю.В. Писаренко // УСиМ. – 2005. – № 4. – С. 8-18.
7. Писаренко В.Г. Информационные технологии управления опасными техноэкологическими происшествиями / В.Г. Писаренко, Ю.В. Писаренко. – Москва : Зодиак, 2007. – 112 с.
8. Вовк Е.Л. Разработка автоматизированной системы поиска и обработки выделенных объектов на изображениях с помощью методов контурного анализа [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://masters.donntu.edu.ua/2006/kita/vovk/diss/index.htm.
9. Майкл Ласло. Вычислительная геометрия и компьютерная графика на С++ / Майкл Ласло ; пер. с англ. – М. : БИНОМ, 1997. – 304 с.
10. Методы корреляционного обнаружения объектов / [Гиренко А.В., Ляшенко В.В., Машталир В.П., Путятин Е.П.]. – Харьков : АО «БизнесИнформ», 1996. – 112 с.

В.Г. Писаренко, Ю.В. Писаренко, Г.П. Коваленко

Розпізнавання навігаційних знаків безпілотним літальним апаратом

Наведено результати огляду методик розпізнавання навігаційних образів та прийняття рішення про посадку безпілотного літального апарату (БПЛА). На основі даних, отриманих у процесі визначення ступеня подібності зображення від камери з еталоном за допомогою алгоритму пошуку еталона, запропоновано алгоритм для бортової системи БПЛА визначення свого власного місця знаходження у просторі відносно розпізнаного навігаційного знаку (НЗ).

V. Pisarenko, U. Pisarenko, A. Kovalenko

The Recognition of Navigating Characters by Unmanned Aerial Vehicle

The results of the browse of navigation images recognition techniques and decision-making on landing of a unmanned aerial vehicle (UAV) are described. The algorithm for onboard system UAV of definition of an own location in space concerning recognized navigation sign is offered. It occurs on the basis of the data received in the course of degree similarity definition of the image from the camera with the template by means of a template search algorithm.

Статья поступила в редакцию 29.06.2010.